

走行車輪下の土の変形

上野, 正実
琉球大学農学部生物生産学科・生産システム工学講座

橋口, 公一
九州大学農学部生物生産数理学講座

鹿内, 健志
琉球大学農学部生物生産学科・生産システム工学講座

後藤, 春樹
酒井重工業株式会社・技術研究所

他

<https://doi.org/10.15017/23538>

出版情報：九州大学農学部学藝雑誌. 49 (1/2), pp.109-118, 1994-11. 九州大学農学部
バージョン：
権利関係：

走行車輪下の土の変形

上野正実¹⁾・橋口公一・鹿内健志¹⁾
後藤春樹²⁾・能勢行則²⁾・岡安崇史¹⁾

九州大学農学部生物生産数理学講座
(1994年8月20日受理)

Soil Deformation beneath a Traveling Wheel

Masami UENO, Kouichi HASHIGUCHI, Takeshi SHIKANAI,
Haruki GOTOU, Yukinori NOHSE and Takashi OKAYASU

Laboratory of Mechanics for Bio-production, Faculty of Agriculture,
Kyushu University, Fukuoka 812

緒 言

車輪の走行性は土(地盤)の変形と密接な関係がある。すなわち、土の変形はけん引力の発生に寄与するとともに、走行抵抗の原因ともなる。このため、接地荷重と沈下量の関係を表した Bekker の実験式に基づいて、走行抵抗を算出する方法、さらには、土のせん断変形特性から車輪の推進力を求め、これに走行抵抗を加えてけん引力を推定する方法などが提案されている(Bekker, 1960)。また、有限要素法においても地盤の変形を求め、それよりけん引力、接地応力などを算出する手法が用いられている(例えば、Jarzebowski *et al.*, 1993)。

しかるに、沈下は鉛直方向にのみ注目した変形の形態であり、これから走行性を予測する方法は簡便ではあるが、十分とは言えない。さらに、土の変形を扱った研究はいくつかあるが(Windisch and Yong, 1970; Wong, 1967)、ひずみを定量的に求めていないので、数値解析結果の妥当性を検証する有効な方法にはなりえないのが実状である。したがって、沈下だけでなく、車輪近傍の地盤の変形を定量的かつ詳細に求め、走行性との関係を検討するとともに、数値解析結果の検証に供する必要がある(上野ほか, 1993)。

このために、著者らは精密土槽実験装置(Hashiguchi *et al.*, 1993, Nohse *et al.*, 1991)と組み合わせた車輪下の土の変形解析システムを開発し、前報において報告した(上野ほか, 1993)。本研究では、浅い密詰め砂地盤において、高いすべり率(41%)の場合についてゴム皮膜車輪の走行実験を行い、このシステムを用いて土の変形解析を行った。車輪の回転に伴う地盤の変形とその経時変化を詳細に検討し、それらの特徴を把握した。けん引力が最大となる前後のひずみの分布パターンを比較し、大きな違いがあることを示した。これらに基づいて、初期沈下状態と回転状態におけるひずみの分布パターンを模式的に表現した。

方 法

車輪下の土の変形を検出するために、ポリエステル製のマーカを土槽内壁に一定間隔に貼りつけた後に、豊浦標準砂を60mmの厚さに充填した。これらのマーカを、土槽側面のアクリル板を通して写真撮影し、座標読取装置で座標値を求めた。まず無変形の基準状態でマーカを撮影し、次に車輪を非回転状態で沈下させた初期沈下後の状態を撮影した。その後、車輪を周速度5mm/min、すべり率41%で回転させ、所定の回転角度毎に一連の写真撮影を行った。この走行実験は、車輪両端面と土槽側壁との隙間をほとんどなくした平面ひずみ(2次元)状態で行った。土槽実験装置および変形解析システムの詳細は前報で述べたのでここでは省略する(上野ほか, 1993, 1994)。

¹⁾ 琉球大学農学部生物生産学科・生産システム工学講座

²⁾ 酒井重工業株式会社・技術研究所

図1にマーカを撮影した写真から座標を読み取り、ひずみを算出するまでのフローチャートを示す。本研究では、回転角10度までは0.5度間隔、それ以上では1.0度間隔で写真を撮影した。その座標値と基準状態の座標値との差からマーカ（節点）の変位を求め、これに有限要素法の手法を用いてひずみを算出した。これを全ての要素について実行し、地盤のひずみの分布状態を求めた。ここでは車輪回転角19度までを解析した。変形状態は、変位ベクトル図の他に、水平方向および鉛直方向の垂直ひずみ、せん断ひずみおよび体積ひずみの等値線図、さらに、主ひずみの分布図で表した。

結果と考察

1. 車輪の回転とけん引性能

図2に、車輪回転角20度までのけん引力、車軸トルク、沈下量、接地（車軸）荷重、および、接地応力の変化を示す。けん引力は回転角2.5度付近で最大値をとり、その後、それよりやや低い値で落ち着いている。車軸トルクもほぼ同様の傾向で推移している。沈下量は回転角10度付近まで急激に増加し、その後やや緩やかに増加している。接地荷重はほぼ一定に保たれている。

2. 変位ベクトル

(1) 初期沈下状態

図3に初期沈下時の変位ベクトル図を示す。これは基準状態に対する初期沈下後の節点の変位をベクトル表示したもので、線分の長さで変位の大きさと

向きを知ることができる。変位ベクトルの大きさは拡大してある。同図の円弧は車輪の一部で、初期沈下時および各回転角における車輪をそれぞれ破線および実線で表した。車輪は左方へ進行する。車輪と交わっている水平線は地表面で、写真より地表面形状を読み取って表示した。また、土層内の枠はマーカを貼った領域を示している。車輪位置、進行方向、地表面およびこの枠は以下の図においても同じである。

この図より、地盤は車軸中心線に対して斜め下方に広がるように、ほぼ左右対称に変形することがわかる。変位量は車輪直下が大きく、周辺は小さくなっている。また、車軸中心線より離れるほど変位ベクトルの鉛直方向に対する傾きは大きくなる。この時の沈下量（初期沈下量）は0.6mmであった。

(2) 回転開始直後

図4に回転開始直後の回転角0.5度および1.5度における変位ベクトル図を示す。車輪が回転し始めると対称性が崩れ、車輪後方では水平に近い状態までベクトルが傾き、また、車輪前方の変位ベクトルに比べて大きくなる様子がわかる。節点（マーカ）の第1層すなわち最上層においては、車輪直下の両側に水平より上

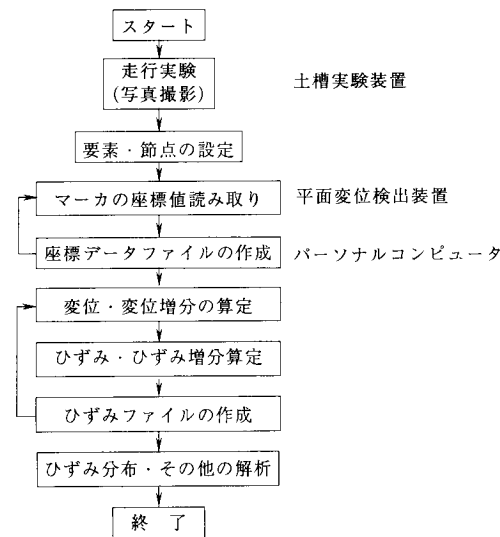


図1 変形解析のフローチャート

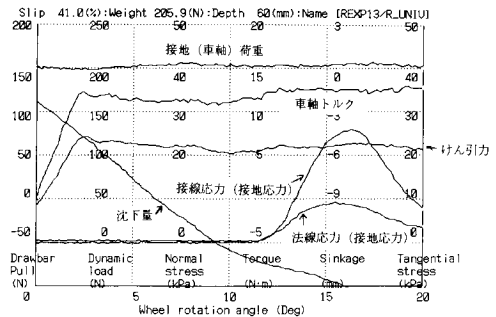


図2 車輪走行実験の結果（すべり率41%）

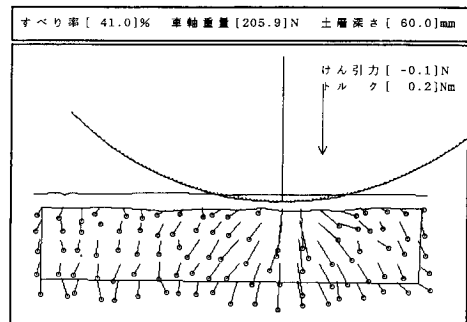


図3 初期沈下状態における変位ベクトルの分布

向きのベクトルもみられ、車輪に沿って土粒子が上昇することがわかる。1.5度になるとこの傾向はより顕著になり、車軸直下点より斜め後方に向けて土粒子が移動する状態が読み取れる。この時、沈下量は0.8mm、1.0mm、けん引力は10.7N、45.1Nと変化した。

(3) 最大けん引力発生時およびその後

図5に最大けん引力が発生した回転角2.5度、および、その直後の3.0度における変位ベクトルの分布を示す。最大けん引力は71.2Nで、その後0.5度回転する間に65.6Nまで低下している。この間に変位ベクトルの分布にかなりの変化が表れている。回転角2.5度では車輪後方の変位が増大して斜め上向きとなるが、全体的には1.5度の場合とほとんど同じである。これが3.0度になると車輪後方の変位量が急激に大きくなり、この部分のベクトルは斜め上向きのものが増える。すなわち、最大けん引力発生前の変形はそれほど大きくないが、発生直後より急激に増大し、けん引力は低下する傾向がみられる。

さらに車輪回転が進むと、車輪後方の斜め上向きのベクトルは急速に増大した。回転角4.5度もしくは5.0度でこの傾向が顕著となり、車輪後方に土の盛り上がり部が形成された。また、大きな変位ベクトルは車軸

直下から後方にかけて比較的浅い層に集中しており、変形が局所化することがわかった。車輪表面付近の第1層の変位ベクトルが、斜め前向きから斜め後向きへと変化する位置、あるいは車輪の法線方向を向く位置は、車軸中心線よりやや前方である。なお、車輪前方には変形の小さい領域が存在している。

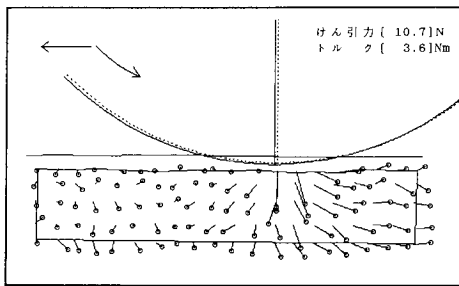
3. ひずみの分布

次に、このような変形状態を詳細にみるために等値線によるひずみ分布で検討した。

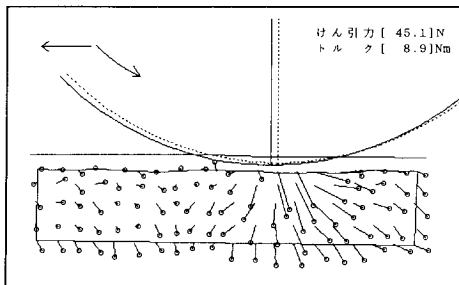
(1) 水平方向の垂直ひずみ (ϵ_x)

図6に初期沈下状態、最大けん引力発生時(回転角2.5度)およびその直後(回転角3.0度)における水平方向の垂直ひずみ(以下、 ϵ_x と表示する)の分布を示す。同図はひずみの分布を等値線で表したもので、実線は正のひずみ、破線は負のひずみを表す。等値線は、要素のひずみを平均化操作により節点ひずみに変換し、節点間において線形補間法を用いて描いた。

回転角によって範囲は異なるが、いずれの分布図においても車輪直下に正の領域、その両側に負の領域が広がっている。車輪直下は車輪の重量によって鉛直方向に圧縮されるので、水平方向に伸びる、すなわち、

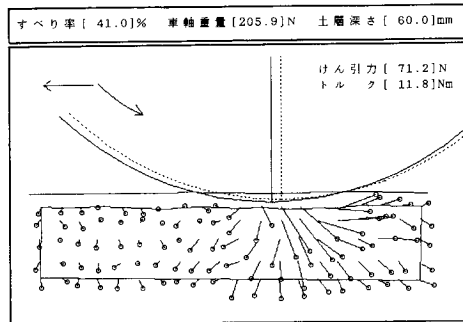


(a) 回転角0.5度

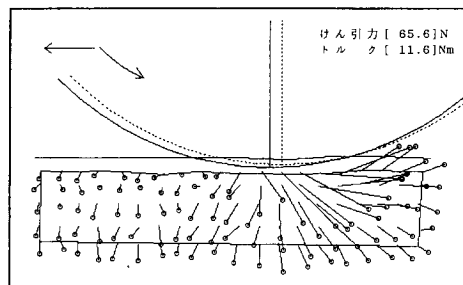


(b) 回転角1.5度

図4 回転開始直後の変位ベクトルの分布



(a) 発生時(回転角2.5度)



(b) 発生直後(回転角3.0度)

図5 最大けん引力発生前後の変位ベクトルの分布

正のひずみとなる。その両側では水平方向に圧縮されるので ϵ_x は負となる。初期沈下状態で左右の対称性がやや悪いのは、沈下時のわずかな回転の影響、マーカ座標の読み取り誤差の影響、さらに、ひずみの計算に用いた三角形要素の特性、等値線の算出過程からくる誤差なども影響しているものと思われる。

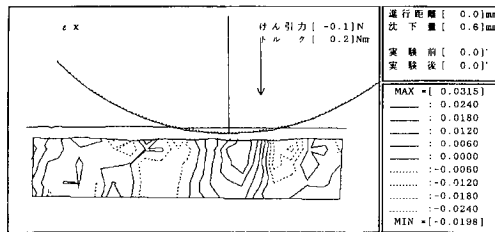
回転が進むと、車輪直下の正の領域は次第に斜め後方に傾き、ひずみの値は大きくなる。また、等値線間隔は狭くなる傾向がみられ、ひずみの勾配が急になることを示している。最大けん引力発生後はこの傾向が明瞭になり、車輪直下付近の正の領域は拡大し、等値線間隔はさらに狭くなった。また、車輪後方の負の領域が鮮明になり、ひずみの値は大きくなる。この後、回転がさらに進んでも、車輪後方の正負の境界すなわち $\epsilon_x=0$ の等値線の位置はほとんど動かないことがわかった。車輪が前進するに伴って正の領域も拡大する。車軸中心線後方の $\epsilon_x=0.024$ の等値線は、ほぼ一定

の深さに固定されている。

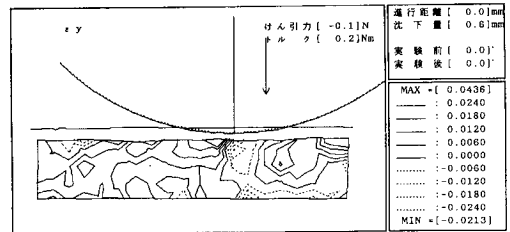
(2) 鉛直方向の垂直ひずみ (ϵ_y)

図7に初期沈下状態、最大けん引力発生時(回転角2.5度)およびその直後(回転角3.0度)における鉛直方向の垂直ひずみ (ϵ_y と表示) の分布を示す。 ϵ_y は ϵ_x とは逆に、車輪直下に負の領域、その両側に正の領域が広がっている。車輪直下では鉛直方向に圧縮されるので ϵ_y は負になる。前述のように、この領域は車輪の重量によって水平方向に伸び、その両側は圧縮されるので水平方向に縮み、鉛直方向に伸びる傾向があり、 ϵ_y は正の値となる。 ϵ_y についても初期沈下時の対称性はあまり良くない。

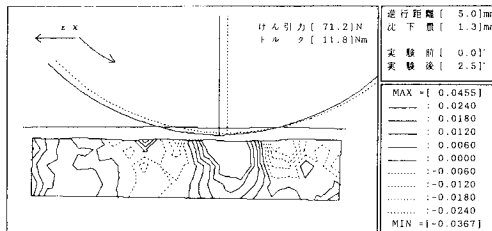
回転に伴って車輪直下の負の領域は斜め後方に偏り、最大けん引力発生直前よりその傾向がはっきりしてくる。車輪直下の圧縮領域では、車輪表面付近よりもやや深い位置に大きな圧縮領域が発生している。最大けん引力発生直後より、車輪後方の正の領域は拡大する



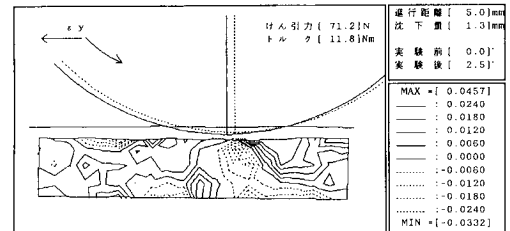
(a) 初期沈下時



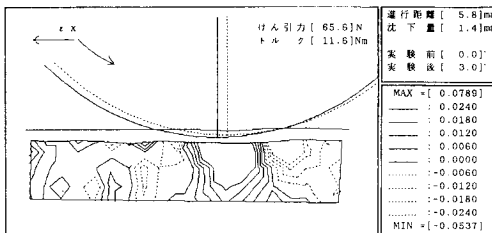
(a) 初期沈下時



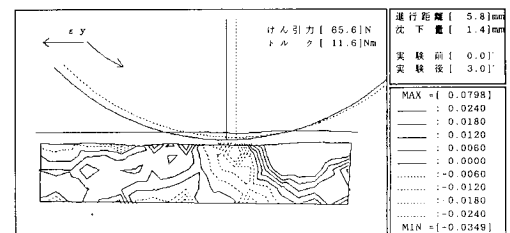
(b) 最大けん引力発生時(回転角2.5度)



(b) 最大けん引力発生時(回転角2.5度)



(c) 最大けん引力発生直後(回転角3.0度)



(c) 最大けん引力発生直後(回転角3.0度)

図6 水平方向の垂直ひずみの分布

図7 鉛直方向の垂直ひずみの分布

とともに、ひずみ値は大きくなった。この後の回転において、車軸中心線や後方の $\epsilon_y=0$ の等値線はわずかずつ前進し、その前方の負の領域は車輪直下に付着する形で前に移動している。車輪後方において、一旦圧縮された部分は車輪が離れるに伴って伸張側に変化する傾向がみられる。すなわち、 $\epsilon_x=0$ の等値線は回転角20度以内ではほとんど固定、あるいは、移動は明確でなかったのに対して、 $\epsilon_y=0$ の等値線はわずかながら前進する点が異なる。また、車輪直下の圧縮領域は回転初期に比べて広がっている。

(3) せん断ひずみ (ϵ_{xy})

図8は初期沈下状態、最大けん引力発生時(回転角2.5度)およびその直後(回転角3.0度)におけるせん断ひずみ (ϵ_{xy} と表示する)の分布を示したものである。初期沈下時では、車軸中心線に対して右側(この場合には後方に対応)に正の領域、左側(前方に対応)に負の領域が分布している。これは沈下する車輪表面

に沿って土粒子が上昇するために発生する現象である。この土粒子の移動は、車軸中心線の右側では右上がり、左側では左上がりとなり、せん断ひずみの定義に基づいて符号が定まる。なお、ひずみの正負は車輪をみる位置と進行方向で決まるので注意が必要である。ここでも対称性はやや悪く、車軸中心線より右側に $\epsilon_{xy}=0$ の等値線が偏っている。また、後方では正の領域の外側にその逆の負の領域、また、前方では負の領域の外側に正の領域が発生することを見いだした。

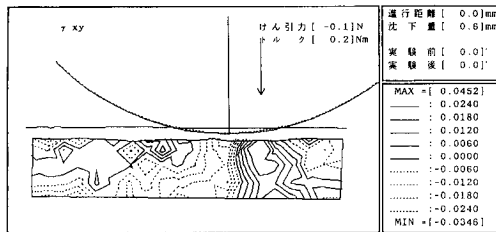
車輪の回転に伴って、 $\epsilon_{xy}=0$ の等値線は車軸中心線のやや前方より斜め後方に延び、対称性は崩れる。最大けん引力が発生する頃にはこの分布パターンが明瞭になった。最大けん引力発生直後には正のひずみ値が大きくなり、その領域は拡大する。例えば、 $\epsilon_{xy}=0.024$ の等値線の分布領域は急激に広がっている。最大けん引力発生前にはこの領域の変化は小さい。上述のように、第1層目には、正負の領域が交互に表れており、地表面にシワが発生することがわかる。これは車輪前方の負の領域では左上がりに変形するので、その前の部分では右上がりの変形が促されるためである。同じように車輪後方に正の領域があり、その後ろに負の領域が表れることも説明できる(図9参照)。車輪後方のシワ(盛り上がり部)は明瞭にわかるが、前方のそれは肉眼ではほとんどわからない程度のものである。

車輪がさらに回転すると $\epsilon_{xy}=0$ の等値線は車軸中心線より前方に移動する。車輪回転角19.0度における分布図を図10に示す。正の領域は車軸中心線よりかなり前から車輪後方へ向けて広がっている。ここでも、大きなひずみは30mm程度の浅い範囲に集中している。また、車輪直下の下層には負のひずみ領域が残留することがわかった。

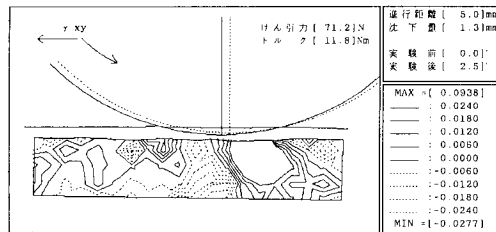
(4) 体積ひずみ (ϵ_v)

図11に初期沈下状態、最大けん引力発生時(回転角2.5度)およびその直後(回転角3.0度)における体積ひずみ (ϵ_v と表示する)の分布を示す。体積ひずみは平面ひずみ状態では水平および鉛直方向の垂直ひずみ ϵ_x および ϵ_y の和で与えられる。

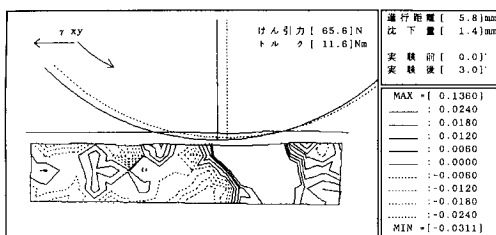
初期沈下状態では分布の特徴はあまりはっきりしないが、車軸中心線の左右に値の小さい正すなわち膨張領域が存在する。この部分では ϵ_x, ϵ_y は正の値をとっている。また、車輪直下では ϵ_x は正、 ϵ_y は負であるが、 ϵ_y の値が相対的に小さいために ϵ_v はゼロに近い正の値をとっている。これは土層が密詰め状態であるために膨張側へ変形したものである。回転に伴い、車輪直下付近は正の領域となり、その前方に負の



(a) 初期沈下時



(b) 最大けん引力発生時(回転角2.5度)



(c) 最大けん引力発生直後(回転角3.0度)

図8 せん断ひずみの分布

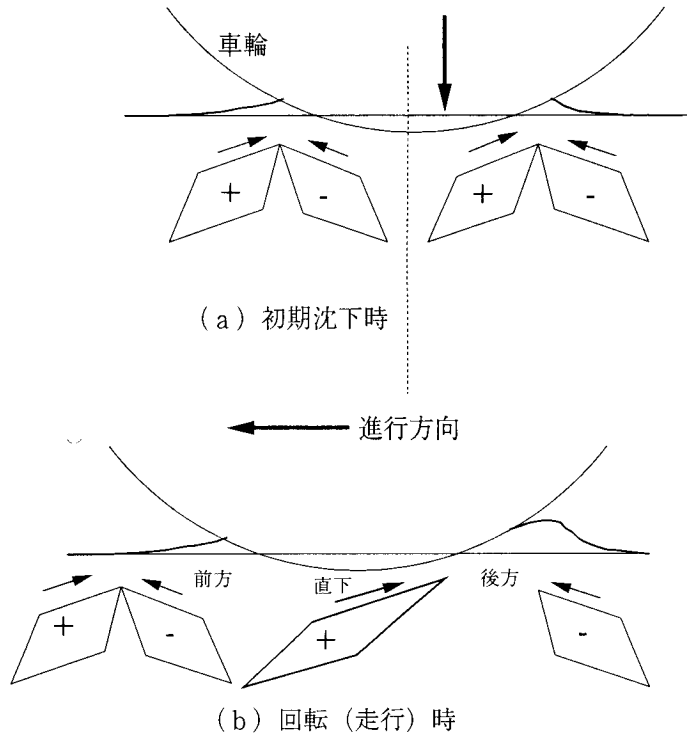


図9 せん断ひずみの発生メカニズム

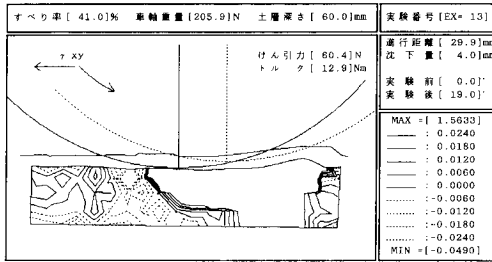


図10 車輪回転角19.0度におけるせん断ひずみの分布

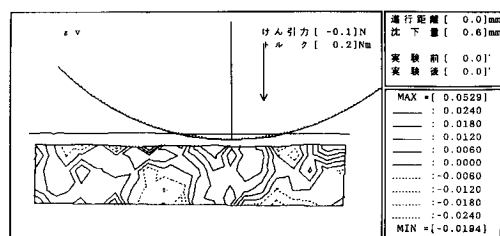
領域が表れた。すなわち、車輪直下前方には体積収縮した硬い領域が形成される。 ϵ_v が負となる領域は車輪前方の下層にも発生している。また車輪後方の下層にも圧縮領域がみられる。

最大せん引力発生直後は、車輪直下の正の領域が大きく拡大し、また、車輪前方の浅い層の負の領域が消失している。さらに車輪の回転が進むと、車輪直下から後方にかけて正の領域が大きく広がり、体積膨張が顕著になる。この正の領域は車軸中心線よりかなり前方まで及び、その前に圧縮領域が発生している。なお、

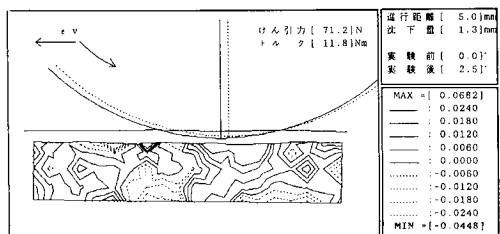
車輪下の顕著な膨張領域は比較的浅い範囲にとどまり、その下層にはわずかながら圧縮領域が残っている。

(5) 回転に伴うひずみの分布パターン

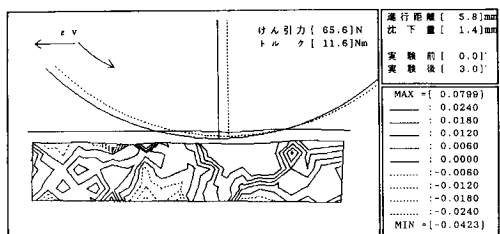
以上の結果を整理して、車輪回転に伴うひずみ分布のパターンを模式的に図12に示す。上述のように、初期沈下状態ではいずれのひずみも左右対称な分布となった。 ϵ_x は車輪直下に正の領域、その両側に負の領域が表れる。 ϵ_y は車輪直下に負の領域、その両側に正の領域が表れる。 ϵ_{xy} は車軸中心線の右側で正、左側で負となる。 ϵ_v は車輪直下両側に正の領域が表れる。これらの分布パターンは車輪の回転に伴って大きく変化した。車輪直下における ϵ_x の正の領域は、前方側は車輪に付随して前に移動するが、後方の $\epsilon_x=0$ の境界線はほとんど動かない。 ϵ_y は車輪後方に正の領域が広がり、前方に負の領域が表れる。正負の境界線は車輪とともに前方に移動する。また、 ϵ_{xy} では車輪直下の正負の境界線が前方に移動した。 ϵ_v は車輪直下やや前方から後方の領域において正の領域が広がり、その前方に負の領域が表れる。車輪後方ではひずみが残留するので、回転が進むと著しく非対称な分布パターンとなる。



(a) 初期沈下時



(b) 最大けん引力発生時 (回転角2.5度)



(c) 最大けん引力発生直後 (回転角3.0度)

図11 体積ひずみの分布

(6) 主ひずみの分布

図13に初期沈下状態、最大けん引力発生時 (回転角2.5度) およびその直後 (回転角3.0度) における主ひずみの分布を示す。直交する2つの線分の長さで主ひずみの大きさを、線分の向きで主方向を表した。圧縮 (負) ひずみを実線で、伸長 (正) ひずみを破線で表示してある。

初期沈下状態では分布パターンは全体的に不明瞭で、車軸中心線に対して斜め下向きに広がる傾向がわずかに認められる。最大けん引力発生時には車輪直下後方に斜め下向きの圧縮ひずみが分布し、これと直交する斜め上方向に伸長することがわかる。最大けん引力発生直後には車軸直下から後方にかけてひずみが著しく増大している。その後、車輪直下より後方の比較的浅い層 (30mm程度) に変形の大きい領域が集中する分布パターンとなる。さらに、この領域では主ひずみの方向が大きく回転している。

3. ひずみの経時変化

図14に車輪に対して前方、直下、後方に位置する第1層の要素のひずみの経時変化を示す。回転角0度におけるひずみは初期沈下によるものである。このひずみは車輪直下付近の要素が最も大きく、ここでは、 ϵ_y は負、 ϵ_x は正となっている。

車輪直下の要素では、最大けん引力が発生する回転角2.5度付近までは、初期沈下時とほとんど同じ大きさのひずみで推移しているが、3.0度付近よりいずれも大きくなる様子がわかる。これはひずみ分布の変化で説明したことを1個の要素についてみたものである。 ϵ_{xy} は正の値をとり、回転角3.0度付近より直線的に増加している。 ϵ_y は次第に負の方向に増加するが、7.5度より減少して、16.5度でゼロとなり、その後は正に転じている。回転に伴ってこの要素が車輪後方へ位置するようになると、一旦圧縮されていたものが伸長側に移り変わる状態を表している。 ϵ_x は8.5度まで正の方向に増加し、その後はほぼ一定の値で推移している。

車輪前方の要素では、回転開始後、 ϵ_{xy} はしばらく小さい負の値をとり、次第に正に転じ、回転角8.0度付近より増加し、12.0度付近から急速に増大している。 ϵ_x は9.0度付近からわずかに減少している。 ϵ_y は初期沈下時には正の値をとり、回転に伴って負側に転じ、回転角6.0度から12.0度の間でかなり変化しているが、その後はほぼ一定で推移している。 ϵ_v は回転角9.0度付近で正から負側へ変わっている。

車輪後方の要素では、 ϵ_{xy} は回転角3.0度付近よりほぼ直線的に増加している。同様の傾向は ϵ_y 、 ϵ_v においても見られる。 ϵ_v は回転初期にはわずかに負となるが、回転角4.0度付近より正の値となった。 ϵ_x は回転角6.0度付近で、正の値が増加した後に次第に小さくなり負側へ移っている。ただし、この過程における ϵ_x の変化はわずかであった。

要 約

本研究では、浅い密詰め砂地盤において車輪が高いすべり率41%で走行する時の土の変形状態およびその経時変化を解析し、次の結果を得た。

- (a) 最大けん引力が発生する前の変形は小さいが、発生直後より急激に増大し、けん引力は小さくなることがわかった。
- (b) 最大けん引力発生後、車輪回転が進むに伴って、車輪後方において斜め上向きの変形が顕著となり、車輪後方に土の盛り上がり部が形成された。
- (c) 大きな変位ベクトルは車軸直下から後方に向け

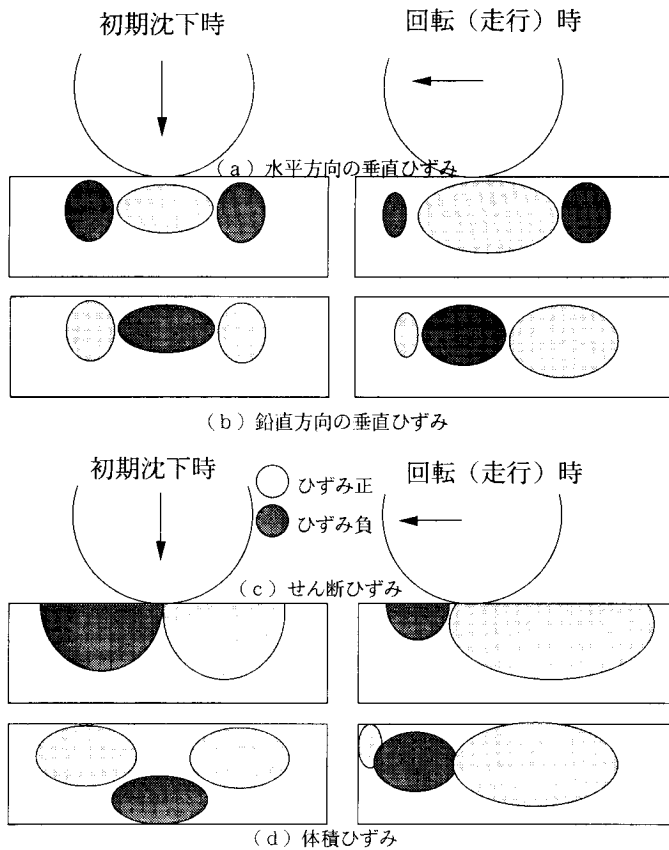


図12 車輪回転に伴うひずみの分布パターン

た比較的浅い層に集中しており、変形は局所化することがわかった。

(d) 車輪回転に伴うひずみ分布のパターンを模式的に示した。初期沈下ではいずれのひずみも左右対称な分布となり、回転に伴って次第に変化する。車輪後方ではひずみが残留するので、回転が進むと著しく非対称な分布パターンとなる。

(e) 最大けん引力発生時の回転角2.5度およびその直後の3.0度において、ひずみの分布パターンは大きく変化した。車輪直下から後方においてひずみは急増し、ひずみの大きな領域は拡大する。

(f) せん断ひずみは、車輪直下やや前から後方にかけて正の領域が発生し、その後ろに負の領域、車輪直下前方には負の領域、さらにその前方には正の領域と、正負の領域が交互に表れることがわかった。

(g) 車輪の回転が進むと、車輪直下から後方にかけて体積ひずみの正の領域が大きく広がり、体積膨張が顕著になる。この正の領域は車軸中心線よりかなり前

方まで及び、その前に圧縮領域が発生している。なお、車輪下の顕著な膨張領域は比較的浅い範囲にとどまっている。

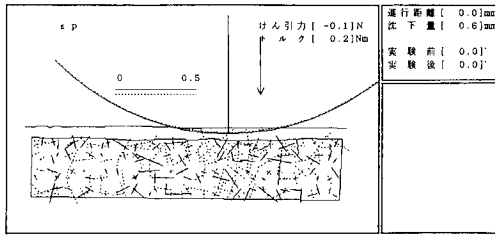
(h) 最大けん引力発生直後には車輪直下から後方にかけて主ひずみの値は著しく増大し、車輪の回転が進んでも車輪直下から後方にかけて比較的浅い層(30mm程度)に大きな主ひずみが集中する分布パターンとなった。

(i) 車輪直下、前方および後方の要素におけるひずみの経時変化を示した。

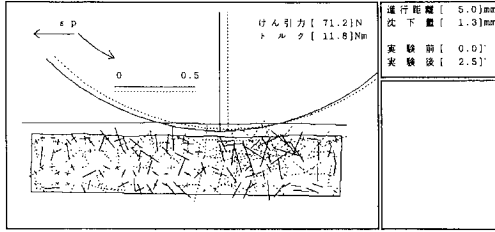
ここではすべり率41%の一例について、走行車輪下の土の変形の特徴を示した。今後、他のすべり率についても解析を行い、データの蓄積を図りながら、けん引力と土の変形との関係を解明する予定である。

文 献

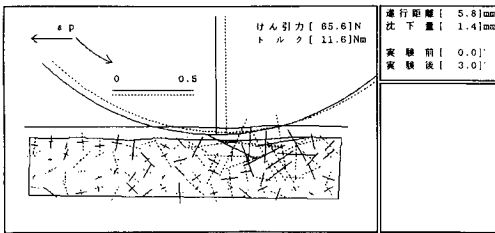
Bekker, M. G. 1960 *Off-the-road locomotion*. Univ. Michigan Press, Michigan (USA)



(a) 初期沈下時



(b) 最大けん引力発生時 (回転角2.5度)



(c) 最大けん引力発生直後 (回転角3.0度)

図13 主ひずみの分布

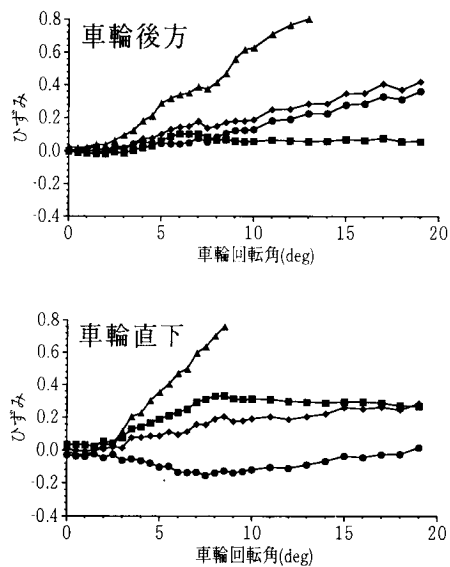
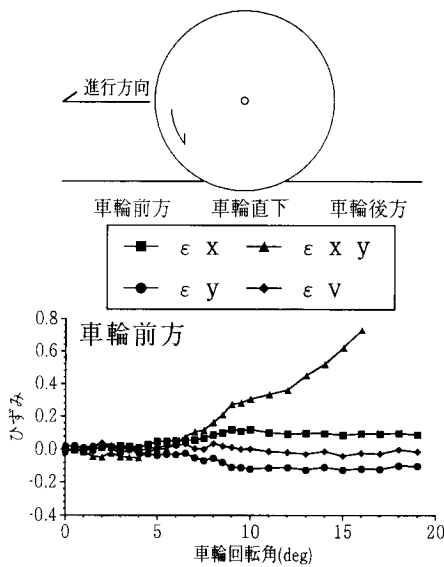


図14 車輪近傍要素におけるひずみの経時変化

Hashiguchi, K., Y. Nohse, M. Ueno, K. Sumiyoshi, K. Uchiyama and T. Yoshimaru 1993 Traveling performance of a wheel on a finite thickness ground. *Proc. ISTVS*, Vol. I: 332-339

Jarzebowski, A., K. Uchiyama, K. Hashiguchi, M. Ueno and Y. Nohse 1993 Numerical analysis of soil-wheel interaction. *Proc. ISTVS*, Vol. I: 340-349

Nohse, Y., K. Hashiguchi, M. Ueno, T. Shikanai and F. Koyama 1991 A measurement of basic mechanical quantities. *J. Terramechanics*, 28(4): 358-370

上野正実・橋口公一・泉 裕巳・後藤春樹・能勢行則・鹿内健志 1993 走行車輪下の土の変形解析システムの開発, 九大農学芸誌, 48(1・2): 103-110

上野正実・橋口公一・泉 裕巳・後藤春樹・能勢行則・鹿内健志 1994 ゴム皮膜車輪の走行性に関する研究, 九大農学芸誌, 48(3・4): 263-272

Windisch, E. J. and R. N. Yong 1970 The Determination of soil strain-rate behaviour beneath a moving wheel. *J. Terramechanics*, 7(1): 57-67

Wong, J. 1967 Behaviour of soil beneath rigid wheels. *J. Agr. Engng. Res.*, 12(4): 257-269

Summary

The traveling performance of a wheel depends on a deformation of soils beneath a wheel. In this paper, the deformation and its change accompanied with a rotation of the wheel are analyzed in case of the high slip (41%) on a ground of sand. The magnitude of soil deformation increased remarkably at immediately after the appearance of the maximum drawbar pull. Large displacement vectors concentrated in the zone beneath the wheel and in the rear of it. Typical distribution patterns of normal strains, a shear strain and a volumetric strain are illustrated by schematic graphs. The isobar of the null shear strain started from the slightly front position of the vertical center line of the wheel axle and inclined to backward when the wheel rotated. The zone of positive and negative tangential strain spread in the rear and the front, respectively, of the center line. There were remarkable differences of these distribution patterns before and after the appearance of the maximum drawbar pull.